

# RAPID PROTOTYPING TEKNOLOGI: APLIKASI PADA BIDANG MEDIS

**Zulkifli Amin**

Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Andalas

## ABSTRAK

*Teknologi rapid prototyping dengan metoda lapisan memungkinkan pembuatan produk (prototype produk) secara langsung. Bentuk morphology dari produk dapat direkam dengan peralatan optik atau Computerised Tomography Scan (CT scan) dan kemudian data ini dikonversikan menjadi sebuah model komputer atau CAD. Setelah sebuah model dihasilkan, maka model dapat diolah sesuai keinginan sebelum di buat secara langsung dengan teknik manufaktur lapisan.*

*Teknologi RP telah banyak diaplikasikan diberbagai bidang seperti dapat ditemukan pada produk aerospace, automotive, perhiasan, peralatan rumah tangga, electrical dan elctronic serta biomedical. Makalah ini terfokus pada aplikasi RP di bidang medis yaitu bagaimana teknologi Rapid Prototyping bisa menyelamatkan hidup anda atau paling kurang bisa membuat anda bisa merasa lebih baik.*

## 1. PENDAHULUAN

Satu abad yang lalu, penggunaan teknologi rapid manufakturing di bidang medis hanyalah merupakan sebuah harapan yang optimis untuk dapat diraih suatu saat nantinya. Tetapi di zaman sekarang harapan tersebut perlahan mulai muncul di beberapa penerapannya yang menunjukkan bagaimana teknik manufaktur dengan metoda lapisan (layer manufacturing) menawarkan perkembangan yang dramatis di bidang medis yakni dalam hal penyediaan perawatan yang lebih baik bagi penderita cedera atau penyakit yang traumatis.

Keuntungan utama dari teknik manufaktur dengan metoda lapisan yaitu disebabkan karena adanya data gambar medis yang dapat di proses untuk keperluan manipulasi model komputer. Bentuk mophology bagian tertentu dari tubuh pasien dapat direkam dengan menggunakan peralatan optik atau Computerised Tomography Scan (CT scan) dan kemudian data ini dikonversikan menjadi sebuah model komputer atau CAD. Setelah sebuah model sudah dihasilkan maka akan memungkinkan untuk memanipulasi model tersebut dengan cara yang disukai sesuai keinginan sebelum dibuat secara langsung dengan teknik manufaktur lapisan [Sloten 2000, Lorrison 2001, Pham 2001].

Pada makalah ini dibahas aplikasi dari Rapid Prototyping di bidang medis yang diilhami dari sebuah event seminar Rapid Prototyping and Manufacturing Association (RPMA) tentang penerapan rapid manufaktur di bidang medis dan kesejahteraan yang diadakan di kantor pusat IMechE di London pada tanggal 14 Maret 2001.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Prototype

Prototype dapat didefinisikan sebagai perkiraan sebuah produk (sistem) atau komponen-

komponennya dalam bentuk-bentuk tertentu untuk maksud tetentu di dalam penerapannya [Chua 2003]. Defenisi ini sangat umum sehingga mencakup semua jenis prototype yang digunakan dalam sebuah proses pengembangan produk seperti model matematika, sketsa, model yang terbuat dari dari gabus, plastik atau kayu dan model fisik yang dapat difungsikan seperti produknya. Defenisi umum dari prototype mengandung tiga aspek yang menjadi perhatian yaitu penggunaan, bentuk dan tingkat pendekatan dari prototype ke produk.

Sebuah prototype adalah bagian yang penting dan sangat vital dari sebuah proses pengembangan produk (product development) seperti sebagai bahan percobaan dan pembelajaran ketika merancang sebuah produk, untuk pengujian dan pembuktian ide, sarana untuk komunikasi, interaksi dan mendemonstrasikan ide, sebagai bahan sintesa keseluruhan produk dan pengujian apakah produk setelah diintegrasikan secara keseluruhan akan berfungsi atau tidak, serta untuk membantu perencanaan waktu (scheduling) proses pengembangan produk.

### 2.2 Rapid Prototyping Teknologi

Cara yang dipakai untuk membuat prototype dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu cara manual, soft atau virtual prototyping dan rapid prototyping (RP). Cara manual membutuhkan waktu yang lama karena hanya mengandalkan keterampilan manual manusia, sedangkan cara virtual prototyping, walaupun telah menggunakan komputer seperti CAD/CAE/CAM dalam pengembangan ide tetapi masih membutuhkan keterampilan manual manusia untuk membuat model akhir. Sedangkan prototype yang dibuat dengan teknologi rapid prototyping akan menghasilkan prototype dengan cepat, sehingga peranan dari prototype ini di dalam proses

pengembangan produk akan lebih cepat dicapai dan efektif.

Rapid Prototyping (RP) merupakan teknik untuk membuat bentuk produk secara bertahap atau penambahan material. Cara ini berbeda dengan teknik yang digunakan pada proses pembentukan dan proses pemesian. RP memberikan keuntungan pada tahap permulaan dari proses perancangan produk. Dengan menggunakan model CAD tiga dimensi yang disimpan dalam file dengan format CAD tiga dimensi seperti STL (STereoLithography), memungkinkan sebuah komponen dengan bentuk yang kompleks untuk dibuat tanpa menggunakan peralatan dan alat bantu (tool dan fixture) yang spesial. Model CAD tiga dimensi kemudian di iris menjadi bagian-bagian penampang dua dimensi produk. Selanjutnya mesin rapid prototyping memproduksi masing-masing bagian penampang dua dimensi dari model tersebut secara bertahap menjadi produk lengkap. Satu irisan penampang dua dimensi merupakan satu lapisan [Amin 2005].

### Metode

Saat ini lebih dari 20 perusahaan yang menawarkan sistem rapid prototyping. Metoda yang digunakan oleh perusahaan tersebut umumnya dapat diklasifikasikan menjadi kategori berikut ini: penyinaran (photo-curing), pemotongan dan perekatan/penyambungan (cutting and gluing/joining), peleburan dan menjadikan ke bentuk padat (melting and solidifying/fusing) dan penyambungan (joining/binding).

Material awal yang digunakan dalam proses rapid prototyping dapat berupa padat, cair atau serbuk. Material dengan kondisi padat dapat berupa butiran (pellet), kawat dan lembaran tipis.

### Klasifikasi Sistem Rapid Prototyping

Ada banyak cara untuk mengklasifikasikan macam-macam sistem RP, salah satu cara yang paling baik adalah pengklasifikasian berdasarkan bentuk awal dari material yang digunakan untuk membuat prototype. Dengan cara ini sistem RP dapat dikategorikan menjadi: material awal berupa material cair (liquid-based), berupa padat (solid-based) dan berupa serbuk (powder-based) [Chua 2003].

Sistem RP dengan liquid-based mempunyai material awal dalam bentuk cair. Dengan proses yang disebut dengan *curing* material berupa cair dirubah ke bentuk padat. Contoh yang termasuk ke dalam kategori ini adalah Stereolithography (SLA). Selain dari bentuk serbuk, Sistem RP dengan solid-based meliputi sistem RP yang menggunakan material awal dalam bentuk padat berupa butiran (pellet), kawat dan lembaran tipis. Contoh yang termasuk pada kategori sistem RP ini adalah Laminated Object Manufacturing (LOM) dan Fused Deposition Modeling (FDM). Kategori yang ketiga

dari sistem RP yaitu powder-based yakni mempunyai material awal dalam bentuk serbuk atau butiran. Contoh yang termasuk ke dalam kategori ini adalah proses Selective Laser Sintering (SLS) dan Three-Dimensional Printing (3D printing).

### 2.3 Biomaterial

Material yang dipakai pada bidang medis dikategorikan sebagai biomaterial, tetapi biomaterial ini juga banyak digunakan dibidang aplikasi lain seperti pada peralatan labor yang menangani protein, untuk peralatan pengatur kesuburan ternak dan pada pembudidayaan kerang. Kesamaan persoalan dari semua aplikasi biomaterial ini adalah bagaimana interaksi antara sistem biologi dengan material sintesis atau material alami yang telah dimodifikasi.

Pada penerapan di bidang medis, biomaterial yang digunakan jarang sekali dalam bentuk material yang sederhana, tetapi lebih umum terintegrasi berupa sebuah peralatan medis. Karena itu biomaterial harus selalu dipertimbangkan dalam konteks bentuk produk akhir yang telah disterilisasi. Ada banyak jenis material yang sering digunakan di bidang medis seperti terlihat di tabel 1.

**Tabel-1** Beberapa Aplikasi dari Material Sintesis dan Material Alami yang telah dimodifikasi dalam bidang kedokteran [Ratner 1996].

Aplikasi	Tipe Material
<b>Sistem Rangka:</b>	
Penggantian sendi (paha, lutut)	Titanium, Ti-Al-V alloy, stainless steel, polyethylene
Plat tulang untuk penguatan tulang yang retak	Stainless steel, cobalt-chromium alloy
Perekat tulang	Poly(methyl methacrylate)
Perbaikan cacat pada tulang	Hydroxylapatite
Tendon dan ligament buatan	Teflon, Dacron
Cangkokan tulang pada gigi dan rahang	Titanium, Alumina, calcium phosphate
<b>Sistem Jantung</b>	
Pembuluh darah buatan	Dacron, Teflon, polyurethane
Katup jantung	Reprocessed tissue, stainless steel, carbon
Selang untuk saluran (Catheter)	Silicone rubber, Teflon, polyurethane
<b>Organ tubuh</b>	
Jantung buatan	Polyurethane
Template untuk memperbaiki kulit	Silicone-collagen composite
Ginjal buatan	Cellulose, polyacrylonitrile
Mesin Jantung-Paru-paru	Silicone rubber
<b>Panca Indra</b>	
Pengantian bagian telinga yang berbentuk spiral	Platinum electrodes
Lensa mata	Poly(methyl methacrylate), Silicone rubber, hydrogel
Contact Lens	Silicone-acrylate, hydrogel
Pita untuk Kornea mata	Collagen, hydrogel

Peralatan medis yang dicangkakan pada umumnya diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup dan meningkatkan kemampuan untuk bertahan hidup lebih lama bagi si pasien. Karena itu, biomaterial yang dipakai untuk membuat peralatan medis tersebut diharapkan mempunyai karakteristik tertentu sesuai kebutuhan seperti: tidak bersifat racun atau membahayakan (toxic), cocok secara biologi (biocompatible) untuk aplikasi yang diinginkan, memberikan efek penyembuhan, dan mempunyai sifat material sesuai fungsi alat tersebut.

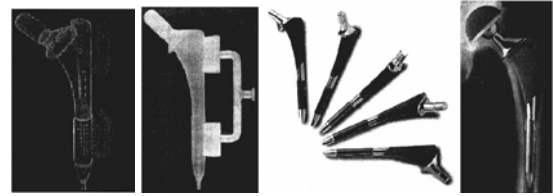
## 2.4 Aplikasi

Area aplikasi dari RP tergantung dari tujuan pembuatan prototype dan material yang digunakan. Jenis material yang bisa digunakan untuk RP belum sebanyak material tradisional yang biasa dimanufaktur. Jadi yang menjadi kunci semakin luasnya aplikasi RP tergantung pada semakin banyaknya material yang bisa digunakan dalam proses RP. Walaupun demikian aplikasi dari RP sudah dapat ditemukan pada produk aerospace, automotive, biomedical, perhiasan, peralatan rumah tangga, electrical dan electronic. Makalah ini terfokus pada aplikasi RP di bidang medis.

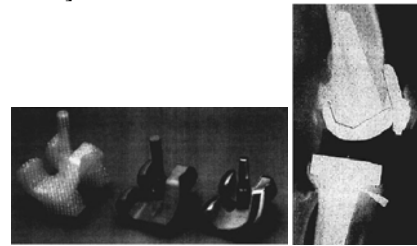
RP dapat diterapkan untuk peningkatan aplikasi di bidang medis dan perawatan kesehatan mulai dari pembuatan peralatan medis, implant dan organ buatan yang disesuaikan dengan si pasien sampai kepada perencanaan sebelum pembedahan dan pendidikan.

Contoh kasus penerapan RP pada perencanaan sebelum pembedahan adalah pada kasus seorang pasien yang menderita tumor otak. Lokasi tumor mengharuskan pembedahan dilakukan dengan melewati rongga mata yang memungkinkan rusaknya fungsi mata. Tetapi dokter memutuskan untuk melakukan pengujian lebih lanjut mengenai lokasi tumor dengan menggunakan tengkorak kepala tiruan tiga dimensi dari pasien yang terbuat dari plastik. Dengan mempelajari model tengkorak si pasien, sang dokter menemukan bahwa memungkinkan untuk mengakses tumor melalui rute yang melewati tulang rahang pasien sehingga menghindari resiko kerusakan pada mata si pasien. Akhirnya tumor dapat dibuang dengan hanya resiko kehilangan satu buah gigi.

Banyak aplikasi dari cangkakan (implant) di dalam tubuh manusia, yang paling umum adalah penggantian tulang paha seperti terlihat pada Gambar 6, sambungan pada lutut (Gambar 7), wajah dan tengkorak kepala. Tetapi ada juga cangkakan untuk sendi-sendi seperti siku, bahu, jari, dan tumit, dan penggantian tulang seperti tulang kering (tibia), rahang bawah (mandible), dan tulang punggung. Aplikasi yang bervariasi ini membutuhkan implant dalam bentuk dan material yang bervariasi [Lorrison 2001, Pham 2001].



**Gambar-6** Dari kiri ke kanan: Model solid CAD tulang paha, model stereolitography, tulang paha artificial, Pemasangan tulang paha artificial [Hilton 2000].



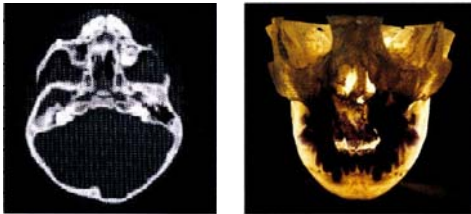
**Gambar-7** Dari kiri kekanan: pola untuk pengecoran penggantian lutut, hasil cor, produk akhir, pemasangan produk ke lutut [Hilton 2000]

## 3. PENELITIAN

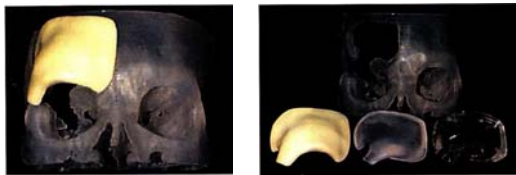
Telah banyak topik penelitian yang berkaitan dengan penerapan teknologi rapid manufacturing di bidang medis, secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok, pertama yaitu yang membahas tentang pembuatan cangkakan tulang yang disesuaikan dengan pasien (customised orthopedic implant). Cara ini meningkatkan kesesuaian secara morphology pada pasien dibandingkan cangkakan secara konvensional. Kategori kedua mengenai pembuatan secara langsung alat penuntun bor bedah untuk membantu dokter gigi dan dokter bedah saat melakukan pekerjaan bedah sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan. Kelompok yang ke tiga membahas tentang teknik jaringan tubuh (tissue engineering) [Lorrison 2001, Pham 2001].

Salah satu kekurangan yang paling utama dari operasi pencangkakan saat ini adalah ketidakmungkinannya mengetahui geometri yang diinginkan dari implant sebelum operasi kecuali bentuk geometri secara kasar saja. Hal ini menyebabkan prosedur operasi menjadi relatif lama karena dokter bedah berusaha mencocokkan implant agar pas dengan pasien. Hal ini diberikan contoh oleh Ninian Peckitt dari ComputerGen Implant yang memberikan presentasi yang bagus dan komprehensif mengenai rapid prototyping dibidang bedah wajah. Dia mendiskripsikan bagaimana sebuah implant dibuat dari sebuah Computerised Tomography Scan (CT scan) bagian wajah yang relevan yang kemudian dikonversikan menjadi sebuah model CAD dan di sesuaikan dengan membuat titik-titik untuk pemasangan ke tulang wajah. Pada Gambar 8a terlihat hasil gambar yang diperoleh dari CT scanner. Kemudian dengan data yang diperoleh dari CT scanner tersebut dibuat

sebuah rapid prototyping model seperti terlihat pada Gambar 8b untuk membantu memvisualisasikan implant. Dengan memanfaatkan model ini maka cetakan implant dapat dibuat sesuai bentuk morphology wajah pasien seperti terlihat pada Gambar 9. Dia juga menerangkan bagaimana dengan tersedianya teknologi ini memberikan dampak yang sangat berarti pada angka kematian pasien dengan menunjukkan grafik tingkat kematian selama dua tahun untuk pasien tumor tingkat lanjut menurun dari 70% menjadi 11.7%, sebagian besar disebabkan karena berkurangnya waktu pelaksanaan operasi karena kesesuaian implant yang lebih baik. Dia juga menjelaskan bahwa teknologi ini memungkinkan perencanaan yang lebih komprehensif sebelum pelaksanaan operasi yang mengakibatkan pengurangan tingkat pemotongan pasien yang diperlukan untuk bedah rekonstruksi.



**Gambar-8** Dari kiri kekanan: Gambar yang didapat dari CT scanner dan Model medis dibuat dengan menggunakan Stereocolor resin [Pham 2001]



**Gambar-9** SLA model dengan bagian template implant dan SLA model dengan template dan implant [Pham 2001]

Pengurangan waktu pelaksanaan operasi dan kesesuaian implant (bagian cangkakan) menyebutkan kembali apa yang telah dibuat oleh Dr Alf Linney dari University College London. Presentasinya, mengenai penggunaan teknik rapid manufaktur untuk membuat cetakan implant untuk tulang tengkorak (Gambar 10), menunjukkan bahwa prosedur ini mempunyai keuntungan yang memungkinkan pelat-pelat yang dibuat dari titanium sebelum operasi, dapat menurunkan resiko infeksi dibandingkan dengan cara sebelumnya yang menggunakan acrylic.



**Gambar-10** Implant pada tengkorak kepala [Lorrison 2001]

Gary Fenton dari DePuy International menerangkan secara rinci proses pembuatan sebuah sendi tulang paha yang disesuaikan dengan pasien (customised hip arthroplasty) dengan cara memproduksi suaian yang tingkat kesesuaiannya tinggi antara implant dan rongga. Hal ini dicapai dengan menganalisa sendi pada paha sehingga bentuk yang diperlukan dapat dibuat menjadi sebuah model CAD, yang mana nantinya dapat digunakan untuk membuat sebuah rapid prototyping model untuk membantu memvisualisasikan implant. Implant ini kemudian dapat dirubah-rubah untuk membuang bentuk morphology yang sangat kompleks, yang bisa menyebabkan konsentrasi tegangan, sebelum diproduksi sebagai komponen akhir melalui teknologi CAD-CAM.

Walaupun suaian yang tingkat kesesuaiannya tinggi tersebut tidak begitu diperlukan pada waktu jangka panjang, karena jaringan tulang sering bisa menjembatani gap yang cukup besar untuk menyatukan sebuah implant, keuntungan jangka pendek adalah meningkatkan stabilitas operasional akhir dan mencegah terjadinya stress yang bisa menyebabkan kehilangan tulang.

Di bidang ini Dr Richard Bibb dari University of Wales di Cardiff mendiskripsikan penggunaan Layer Object Manufacturing (LOM) untuk memproduksi implant dan prostheses melalui studi kasus. Seorang pasien yang kehilangan sebagian dari bagian wajahnya dalam sebuah operasi membutuhkan sebuah masker (topeng) yang kelihatan persis dan mewakili bentuk aslinya. Pekerjaan ini dilakukan dengan menggunakan sebuah scanner optik untuk membuat gambar bagian wajahnya yang masih tersisa yang kemudian dikonversikan menjadi sebuah model CAD dan kemudian membuat gambar cerminan bagian wajah yang hilang. Model yang dihasilkan ini kemudian dikonversikan menjadi objek secara fisik dengan teknik LOM untuk mendemonstrasikan hasil yang diperoleh. Dia melihat bahwa cara ini terbukti solusi yang efektif dan karena banyak pembuatan model prosthesis (pengganti bagian tubuh) yang gagal, ini mungkin merupakan satu-satunya solusi yang dapat dilakukan untuk jangka panjang.

Keuntungan utama dari teknik ini adalah mengurangi waktu pelaksanaan operasi dan kesesuaian implant yang lebih baik, yang menyebabkan kualitas implant menjadi lebih tinggi, mengurangi tingkat kematian, meningkatkan kepuasan pasien dan menurunkan biaya perawatan dan pengobatan untuk waktu jangka panjang. Satu-satunya kekurangan dari teknik ini saat ini adalah dibutuhkan waktu yang relatif lebih lama dan biaya yang dibutuhkan untuk membuat implant yang benar-benar sesuai dengan pasien (customised implant). Dikarenakan masih sedikitnya jumlah pasien yang telah dirawat dengan cara ini, kelihatannya sangat menjanjikan bahwa akan lebih banyak lagi prosedur-prosedur yang mungkin mengikuti pekerjaan pionir ini.

Kategori kedua dari topik penelitian yang berkaitan dengan penerapan teknologi rapid manufacturing di bidang medis merupakan kelanjutan dari bagian implant yaitu pembuatan alat bantu penuntun bor bedah. Ketika seorang pasien menderita trauma pada tulang punggung seperti kerusakan pada kolom tulang punggung, atau tulang punggung terderformasi karena penyakit atau bawaan dari lahir, maka mungkin menjadi perlu untuk memasang plat-plat pada tulang-tulang tersebut untuk mencegah pergerakan tulang-tulang yang berdekatan dengan bagian tulang yang mengalami kerusakan. Sama halnya dengan pembedahan pada gigi, ketika seorang pasien membutuhkan pencangkokan pada tulang yang berhubungan dengan gigi, baut-baut dipasangkan ke bagian atas atau bawah rahang, dimana gigi-gigi tiruan pengganti akan dipasangkan. Pada kedua kasus ini akan dibutuhkan untuk membor ke dalam jaringan tulang pada tulang punggung atau rahang yang harus cukup kuat untuk menahan implant. Dr. Kenneth Dalgarno dari University of Leeds mendeskripsikan pembuatan template untuk proses bor pada bedah tulang punggung (Gambar 11) dan mendeskripsikan bagaimana, ketika tulang punggung perlu untuk dibaut, keterbatasan jumlah jaringan tulang tissue yang tersedia menyebabkan dibutuhkannya proses pemboran yang sangat akurat agar kesalahan dan kerusakan batang tulang punggung (spinal cord) dapat dihindari. Dia menerangkan bahwa dikembangkan teknik ini, pelaksanaan operasi berlangsung tiga jam dan 40% terdapat komplikasi sementara sekarang waktu operasi berkurang menjadi setengah jam dan komplikasi boleh dibilang tidak ada.



**Gambar-11** Dari kiri ke kanan: Model komputer dicocokkan ke tulang punggung, model akhir, dan produk akhir [Lorrison 2001]

Prosedur ini juga mendeskripsikan hal yang berhubungan dengan alat bantu penuntun bor bedah gigi (dental drilling guide) (terlihat pada Gambar 12) yang dipresentasikan oleh Kris Wouter. Dasar yang sama digunakan yaitu mengkonversikan hasil CT scan seorang pasien menjadi model CAD dan kemudian menggunakannya untuk membuat model template untuk proses bor yang persis sesuai dengan tulang belakang dan rahang pasien. Template ini kemudian dibuat langsung dengan teknik rapid prototyping dan setelah itu disterilkan. Keuntungan lain dari pengkonversian gambar medis menjadi CAD file adalah setelah model template untuk proses bor dihasilkan, maka bisa dilakukan pengecekan kesesuaiannya dengan gambar medis untuk memastikan kestabilan dan kesesuaiannya. Saat ini

kelihatannya sangat sedikit efek negative dari pekerjaan ini karena kemungkinan kesalahan-kesalahan yang akan terjadi saat pembedahan berhasil dihilangkan.



**Gambar-12** Model Computer alat bantu penuntun bor bedah gigi (dental drilling guide) [Lorrison 2001]

Dengan meningkatnya populasi dari penduduk yang berumur lanjut dan dengan meningkatnya permintaan tempat untuk praktek medis, maka semakin berkurang tingkat ketersediaan organ tubuh untuk tranplantasi. Ini disebabkan karena kekurangan donor dan mengakibatkan bertambahnya jumlah orang menunggu untuk operasi pencangkokan organ tubuh. Sebagai akibat, banyak riset yang memfokuskan pada pembuatan artificial organ dan jaringan tubuh manusia, sehingga ketergantungan pada donor dapat dikurangi atau jika mungkin ditiadakan. Ini adalah tema yang dipresentasikan oleh Professor Peter Marquis dari University of Birmingham. Dia juga menguraikan tinjauan yang menarik tentang kemungkinan kemungkinan dan batasan-batasan teknik jaringan (tissue engineering). Dia juga menyatakan bahwa walaupun kemajuan yang cukup banyak telah dibuat pada bidang ini, metoda-metoda saat ini terbatas pada pembuatan penopang (scaffold) dengan konstruksi relative kasar dan ini diperburuk oleh batasan-batasan yang ada pada teknologi manufaktur lapisan seperti ketersediaan material dan resolusi. Walaupun memungkinkan untuk membuat jaringan kulit, pembuatan organ tubuh yang kompleks seperti paru-paru dan ginjal masih tetap merupakan tantangan yang masih sulit.

Hal ini didemonstrasikan lebih lanjut oleh Dr. Robert Carr dari Macranal Ltd yang mempresentasikan tentang penggunaan nano-optic dalam bidang pendeteksian secara cepat (rapid detection) perilaku virus dan sel. Metoda yang digunakan adalah dengan melewati objek yang akan dideteksi melalui sebuah kumpulan celah-celah yang dichayai dari bawah dengan laser. Apabila sebuah sel atau virus melewati sebuah celah, maka akan teramati adanya perubahan frekuensi pada detector yang menunjukkan keberadaan virus atau sel tersebut.

Microanalysis tipe ini akan menjadi kebutuhan jika teknik jaringan (tissue engineering) akan dijadikan teknologi yang bisa dipakai. Seperti disebutkan oleh Profesor Marquis, solusi yang berpotensi untuk masalah ini mungkin dengan penggunaan 3D printing untuk memrint secara langsung sel untuk membentuk sebuah konstruksi. Saat ini, metoda ini belum terlihat sebagai sesuatu



cara yang mungkin, tetapi bisa saja mungkin. Tanpa peningkatan pengertian mengenai perilaku organ dan sell, mencoba untuk membuatnya, kelihatan merupakan pekerjaan yang sangat sulit.

#### 4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, dapat terlihat bahwa teknologi rapid prototyping telah memberikan pengaruh yang sangat berarti di bidang medis, dan dengan riset dan pengembangan lebih lanjut, teknologi ini akan terus berkontribusi pada pengembangan yang perawatan yang cepat, tidak mahal dan efektif yang memberikan keuntungan bagi kita semua.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Amin, Z. (2005) *Metal-Electroceramic Bonding through Selective Laser Sintering*. PhD, Department of Mechanical Engineering, The University of Leeds.
2. Beaman, Joseph J., Barlow, Joel W., Bourell, David L., Crawford, Richard H., Marcus, Harris L., and McAlea, Kevin P. (1997) *Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing*. Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers.
3. Chua, C.K., Leong, K.F., and Lim, C.S. (2003) *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. World Scientific Publishing Ltd.
4. Hilton, P.D. and Jacobs, P.F. (2000) *Rapid Tooling: Technologies and Industrial Applications*. New York. Marcel Dekker, Inc.
5. Jacobs, Paul F. (1996) *Stereolithography and other RP&M Technologies: from Rapid Prototyping to Rapid Tooling*. New York: American Society of Mechanical Engineers (ASME) Press and Society of Manufacturing Engineers (SME).
6. Lorrison, J. and Wimpenny, D. (2001) Applications of Rapid Manufacturing in Medicine and a Wealth. *Rapid Prototyping and Manufacturing Association (RPMA) event*. IMechE headquarters, London.
7. Pham, D.T. and Dimov, S.S. (2001) *Rapid manufacturing: The Technologies and Applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling*. London, Springer.
8. Ratner, B. D., Hoffman, A.S., Schoen, F.J., dan Lemons, J.E. (1996) *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*. USA. Academic Press.
9. Sloten, Vander J., Audekercke, Van R., and Perre, Van Der G. (2000) Computer Aided Design of Prostheses. *Industrial Ceramics*. 20 (2), pp.109-112.